

RANCANG BANGUN *THERMOELECTRIC GENERATOR* SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK DENGAN MEMANFAATKAN PANAS MATAHARI

Naufal Tri Wibowo

D3 Teknik Listrik, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
naufal.17050413007@mhs.unesa.ac.id

Widi Aribowo, Mahendra Widyartono, Aditya Chandra Hermawan

D3 Teknik Listrik, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
widiaribowo@unesa.ac.id. mahendrawidyartono@unesa.ac.id. adityahermawan@unesa.ac.id

Abstrak

Indonesia memiliki banyak potensi energi terbarukan, yang pemanfaatannya belum optimal. Kendala tersebut yang menjadi perhatian dari pemanfaatan energi terbarukan dikarenakan biaya yang dibutuhkan besar dibandingkan pemanfaatan energi tidak terbarukan. Tujuan penelitian ini adalah membuat rancang bangun pembangkit listrik termoelektrik dengan memanfaatkan panas matahari dengan penerapan efek *seebeck* sehingga mengeluarkan energi listrik untuk memenuhi kebutuhan penarangan pada rumah tangga. Pada penelitian ini, termoelektrik generator dirancang dan dibuat dengan menggunakan 11 modul TEG1-199-1.4-0,5, tembaga sebagai penerima panas dan alumunium serta es batu sebagai media pendingin. Sumber panas yang digunakan adalah energi panas sinar matahari yang difokuskan melalui /kaca pembesar. Tegangan naik secara banyak didapatkan dengan penghantar plat tembaga yang mempunyai tebal 1mm serta pendingin air es dengan rangkaian seri termoelektrik pada hari ke-6 yaitu 3,4 volt, dan rata-rata suhu yang diterima oleh TEG ialah 50,6°C selama masa pengujian 7 hari. Dari hasil *output* tegangan TEG didapatkan rata-rata dari tegangan tertinggi dari sensor tegangan maupun multimeter yaitu sebesar 3,3 V dan 3,11 V. Perhitungan *error* dilakukan pada data TEG yang diukur menggunakan sensor tegangan didapatkan hasil perhitungan *error* pada rata-rata tegangan tertinggi pada TEG yaitu 6,1% dari perhitungan *error* perhitungan TEG dengan sensor tegangan dan 0,3% dari perhitungan *error* multimeter dengan perhitungan.

Kata kunci : Pembangkit Listrik Skala Kecil, Termoelektrik Generator, *Dc Step Up*.

Abstract

Indonesia has a lot of potential for renewable energy, the utilization of which is not yet optimal. These constraints are a concern of the use of renewable energy because the costs required are large compared to the use of non-renewable energy. The purpose of this research is to design a thermoelectric power plant by utilizing solar heat by applying the *seebeck* effect so that it releases electrical energy to meet the lighting needs of the household. In this study, the thermoelectric generator was designed and manufactured using 11 TEG1-199-1.4-0.5 modules, copper as heat receiver and aluminum and ice cubes as a cooling medium. The heat source used is the heat energy of sunlight which is focused through a magnifying glass. The increased voltage was obtained a lot with a copper plate conductor which has a thickness of 1mm and an iced water cooler with a thermoelectric series on the 6th day, namely 3.4 volts, and the average temperature received by TEG was 50.6 ° C during the test period. 7 days. From the results of the TEG voltage output, the average of the highest voltage from the voltage sensor and multimeter is 3.3 V and 3.11 V. The calculation of errors is carried out on the TEG data which is measured using a voltage sensor, the results of the calculation of errors are obtained at the highest average voltage TEG is 6.1% of the calculation error of the TEG calculation with the voltage sensor and 0.3% of the calculation of the error of the multimeter with the calculation.

Keywords: Small Scale Power Generation, Thermoelectric Generator, *Dc Step Up*

PENDAHULUAN

Penggunaan energi tidak terbarukan perlu diimbangi oleh pemanfaatan energi terbarukan yang ada dibumi. Cadangan pada negara Indonesia cukup besar seperti panas bumi yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik

Pada kondisi sekarang penggunaan sumber energi terbarukan mulai dikembangkan seperti pada rumah yang menggunakan panel surya sebagai cadangan sumber energi listrik. Maka melihat dari kondisi lingkungan sekitar dengan pembuatan alternatif dari panel surya yaitu thermoelektrik yang memanfaatkan panas matahari sebagai sumber energi.

Menurut (Nuwayhid dkk, 2005), pengembangan dan pengujian pembangkit *thermoelectric* dengan sisi bagian panas yang dikombinasikan pada perapian lama di Libanon sehingga mendapatkan daya 4,2 W.

Hasil penelitian (Nandy dkk, 2009), menggunakan pemanas dengan tegangan, yaitu 110 V dan 220 V. Hasil pengujian dengan 12 elemen *thermoelectric* rangkaian seri keluaran tegangan 220 V, mengeluarkan daya output maksimum 8,11 W yaitu perbedaan suhu rata-rata 42,82 °C. (Wirawan, 2012), melakukan penelitian menggunakan *heat pipe* pada sisi dingin *thermoelectric* dirangkai seri 8 buah modul *thermoelectric*, menghasilkan tegangan maksimal sebesar 15,6 V dan daya yang dihasilkan 2,4 W dengan menggunakan resistor 100 Ω sebagai beban. Penelitian ini bertujuan sebagai sumber energi listrik alternatif untuk memenuhi kebutuhan penerangan lampu yaitu lampu led.

KAJIAN PUSTAKA

Energi Panas

Energi panas adalah energi yang disebut kalor yang terbentuk dari perpindahan dari perbedaan suhu. Matahari sumber energi panas dan cahaya di bumi. Kalor merupakan bentuk energi yang berpindah jika benda kedua benda atau zat saling bersentuhan serta terjadi perpindahan suhu yang lebih tinggi ke suhu yang lebih rendah. Suhu adalah ukuran derajat pada panas atau dingin suatu benda/zat, sedangkan pada kalor yaitu ukuran banyaknya panas di benda/zat.

Thermoelectric Generator (TEG)

Tahun 1821, dimana Thomas Johann Seebeck meneliti suatu perbedaan suhu sehingga mendapatkan energi listrik yang dikenal sebagai efek *seebeck*. Thermoelektrik terbentuk perubahan energi yang disebabkan dari perbedaan suhu menjadi energi listrik ataupun sebaliknya. Sebuah modul *thermoelectric* menghasilkan tegangan ketika ada perbedaan suhu pada setiap sisi *thermoelectric*. Sebaliknya, bila *thermoelectric* dimasukan sumber energi listrik, maka menciptakan perbedaan suhu menurut (Khalid dkk, 2016). Thermoelektrik dapat mengkonversi energi dari perbedaan suhu ke beda potensial (efek

seebeck), atau sebaliknya (efek *peltier*) yang terbuat dari bahan yang solid.

Konversi Energi Panas

Konversi perbedaan suhu pada material thermoelektrik menghasilkan energi listrik atau sebaliknya. Bahan pada thermoelektrik terdiri dari semikonduktor tipe proton dan neutron. Menurut (Abdurrohman, 2017), efek *Seebeck* terjadi jika terdapat perbedaan suhu maka elektron akan bergerak dari suhu panas ke suhu dingin sehingga terjadi perbedaan suhu pada bahan pada thermoelektrik, oleh karena itu tegangan pada thermoelektrik saat arus listrik yang mengalir menjadi :

$$V = \alpha \times \Delta T \quad (1)$$

Keterangan:

V = Tegangan (Volt)

α = Koefisien *Seebeck* (V/K)

ΔT = Perbedaan suhu antara dua sambungan (°C)

Prinsip Kerja Thermoelektrik Generator

Teknologi yang mana bagiannya tidak ada yang bergerak atau terdapat cairan. Implementasi dari efek *seebeck* untuk menghasilkan listrik terdapat pada generator thermoelektrik. Perumusan dari perbedaan temperature di thermoelektrik:

$$\Delta T = T_h - T_c \quad (2)$$

Keterangan :

T_h = Suhu panas (°C)

T_c = Suhu dingin (°C)

Dalam thermoelektrik bisa dapatkan daya yang dikeluarkan dengan menggunakan rumus :

$$P = V \times I \quad (3)$$

Keterangan :

P = Daya (Watt)

I = Arus (Ampere)

Efek *Seebeck*

Proses perubahan dari perbedaan suhu menjadi listrik dinamakan efek *seebeck*. Jika dua bahan yang berbeda kemudian ujungnya di sambungkan satu sama lain terjadi perbedaan suhu diantara kedua sambungan sehingga menghasilkan energi listrik. Menurut (Ansyori, 2017), setiap bahan pada thermoelektrik memiliki koefisien *seebeck* yang berbeda-beda. Hasil yang diperoleh dipengaruhi oleh perbandingan dari koefisien *seebeck* dengan beda potensial yang dihasilkan sehingga menghasilkan energi listrik.

Cara Kerja Thermoelektrik Generator

Modul Thermoelektrik generator memiliki dua bagian yaitu bagian panas dan dingin. Berikut cara kerja modul thermoelektrik generator:

- a. Untuk menghasilkan enegi listrik bahan pada thermoelektrik dirangkai dengan menghubungkan

sumber panas dan dingin. Dari rangkaian itu terjadi perbedaan suhu yang mana dapat menghasilkan sejumlah energi listrik.

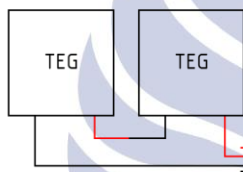
- b. Kerja pendingin pada thermoelektrik, jika bahan pada thermoelektrik dialiri listrik, maka panas yang ada di sekitar bahan thermoelektrik akan terserap.

Rangkaian Thermoelektrik Generator

Dalam mendapatkan *output* yang diinginkan maka pemasangan thermoelektrik generator bisa dihubungkan seri, paralel dan seri-paralel.

- a. Hubungan Seri Modul Thermoelektrik Generator

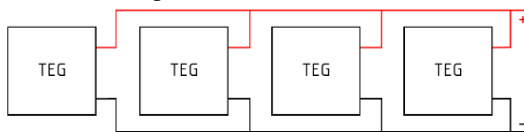
Ketika tegangan yang diinginkan adalah tegangan yang besar maka thermoelektrik rangkaian seri dengan cara menyambungkan plus dan minus seperti yang terlihat pada Gambar 1. Keluaran tegangan yang didapatkan dengan cara menghubungkan secara seri 2 buah thermoelektrik yang mempunyai tegangan 2,4 Volt dan 0,5 Ampere, adalah tegangan 4,8 Volt dengan arus tetap sebesar 0,5 Ampere.



Gambar 1. Dua thermoelektrik dihubungkan secara seri

- b. Hubungan Paralel Modul Thermoelektrik Generator

Ketika ingin mendapatkan arus yang besar maka thermoelektrik dihubungkan secara paralel, dengan cara menyambungkan kutub positif dengan kutub positif dan kutub negatif dengan kutub negatif dari setiap kutub yang ada di thermoelektrik yang terlihat pada Gambar 2. Apabila satu thermoelektrik mempunyai *output* tegangan 4,8 Volt dengan arus listrik sebesar 0,7 Ampere, maka ketika tiga buah modul thermoelektrik dihubungkan secara paralel maka *output* yang dihasilkan modul thermoelektrik tersebut adalah 4,8 Volt dengan arus yang dikeluarkan sebesar 2,1 Ampere.

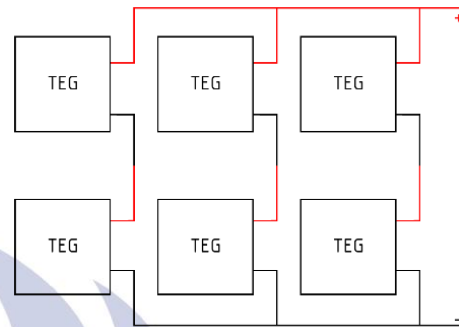


Gambar 2. Thermoelektrik dihubungkan secara paralel

- c. Hubungan Seri-Paralel Modul Thermoelektrik Generator

Untuk mensuplai daya yang lebih besar dan arus yang diinginkan maka perlu untuk merangkai

sejumlah modul thermoelektrik secara seri dan paralel terlihat pada Gambar 3. Pada gambar terlihat bahwa rangkaian modul thermoelektrik untuk suplai terdiri dari 2 buah modul thermoelektrik dengan rangkaian seri dan 4 buah modul thermoelektrik dengan rangkaian paralel. *Output* dari modul tersebut adalah tegangan 4,8 Volt dan arus 2,1 Ampere.

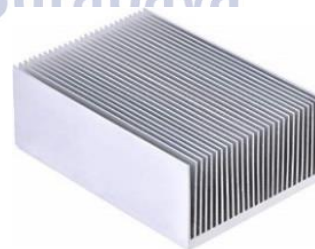


Gambar 3. Thermoelektrik dihubungkan seri-paralel

Heatsink

Heatsink berfungsi sebagai tempat perpindahan kalor dalam suatu benda / zat. Bagian paling berpengaruh dari *Heatsink* adalah fin. Fin adalah mempunyai luasan yang tersusun secara terstruktur dengan ketebalan dan jarak tersendiri yang berfungsi sebagai pembuang panas. Banyak teknologi pendingin yang menggunakan *heatsink* sebagai pendingin seperti mesin pemanas, pendingin elektronik, *refrigeration*, dan laser.

Heatsink mempunyai bagian pendingin dan bagian penerima panas, pada bagian penyerap panas terbuat dari aluminium ditunjukkan pada Gambar 4. Untuk mendapatkan hasil yang diinginkan maka konduktivitas termal pada bahan perlu dipertimbangkan. Tembaga mempunyai konduktivitas *thermal* yang tinggi sehingga penyerapan panas dilakukan dengan baik. Pada bagian pembuang panas pada Gambar 5 untuk mempengaruhi perbedaan suhu pada modul thermoelektrik membutuhkan bahan yang memiliki kemampuan melepas dengan baik yaitu aluminium dengan tambahan air es sebagai pendingin.



Gambar 4. Heatsink di sisi dingin
(Sumber : www.sino-sheetmetal.com)

- Spesifikasi *Heatsink* yang digunakan :
- Ukuran : 20cm x 12cm x 2,45mm
 - Bahan : Aluminium
 - Konduktivitas Termal : 200 J/m.s.C°



Gambar 5. Heatsink/Plat di sisi panas
(Sumber : www.arrorasiaindonesia.com)

Spesifikasi *Heatsink/Plat* yang digunakan :

Ukuran : 20cm x 12cm
Bahan : Tembaga
Konduktivitas Termal : 380 J/m.s.C°

Direct Current (DC) Step Up

DC-DC alat yang berfungsi sebagai mengubah tegangan searah ke tegangan searah lainnya dengan nilai yang dapat ditingkatkan atau diturunkan. Menurut (Hadi, 2017), cara pengolahan daya memiliki 2 tipe pengolahan, yaitu linier dan *switching*. Namun pengolahan dengan metode *switching* memiliki nilai efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode linier sehingga hampir semua sistem catu daya bekerja dalam mode *switching* dengan modul pada Gambar 6.



Gambar 6. Modul XL6009E1
(Sumber : www.sunrom.com)

Spesifikasi modul *boost converter* XL6009E1 sebagai berikut :

Ukuran : 43mm x 21mm x 14mm
Tegangan *Input* : 3 – 32 Volt
Tegangan *Output* : 5 – 35 Volt
Arus *Input* : Max 3 Ampere
Arus *Output* : Max 3 Ampere
Power *Output* : Max 25 Watt
Suhu Operasi : -40°C – 85°C

Lensa

Dua permukaan pembias yang memiliki sumbu utama berhimpit yang mempunyai objek tembus pandang ialah lensa. Lensa konvergen menyebabkan sinar sejajar sumbu utama untuk mengumpul biasanya disebut. Sebaliknya, jika menyebarkan sinar disebut lensa divergen. Sebuah lensa dapat menghasilkan bayangan objek hanya karena lensa dapat membengkokkan sinar, tetapi lensa hanya

dapat membengkokkan sinar jika indeks pembiasannya berbeda dengan indeks bias medium disekitarnya

Lensa cembung mempunyai sifat mengumpulkan sinar-sinar yang datang menuju lensa seperti pada Gambar 7. Sinar-sinar sejajar menuju lensa cembung dibiaskan dan melalui satu titik pada sumbu utama. Titik ini disebut titik fokus utama (F). Jarak dari F ke O adalah jarak fokus (f). Titik O adalah titik pusat lensa atau pusat optik.

Ada tiga sinar-sinar istimewa pembiasan pada lensa cembung, yaitu :

- Jika titik fokus F lensa dilalui oleh sinar datang maka sumbu utama lensa dibiaskan
- titik fokus pasif F lensa akan dibiaskan sejajar sumbu utama lensa jika dilalui sinar datang.
- Sinar datang menuju lensa melalui titik pusat optik lensa M dipantulkan kembali seakan-akan datang dari titik pusat kelengkungan tersebut.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{So} + \frac{1}{Si} \quad (4)$$

$$M = \frac{Si}{So} \quad (5)$$

$$M = \frac{hi}{ho} \quad (6)$$

$$P = \frac{1}{f} \quad (7)$$

Keterangan :

- So = jarak benda (m)
Si = jarak bayangan benda (m)
hi = tinggi bayangan (m)
ho = tinggi benda
f = jarak fokus lensa (m)
M = perbesaran linier bayangan lensa (dioptri)
P = kuat lensa (dioptri)



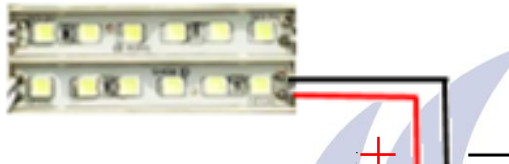
Gambar 7. Lensa Cembung/Kaca Pembesar
(Sumber : www.stationary.co.id)

Lensa yang akan digunakan :

- Jenis : Lensa Cembung
- Diameter : 7,5 cm
- Jarak Fokus : 25 cm

LED

Komponen elektronika yang dapat mengeluarkan cahaya ketika diberikan *forward voltage*. Komponen ini mempunyai banyak warna-warna cahaya yang dipancarkan tergantung bahan semikonduktor yang digunakan seperti pada Gambar 8.

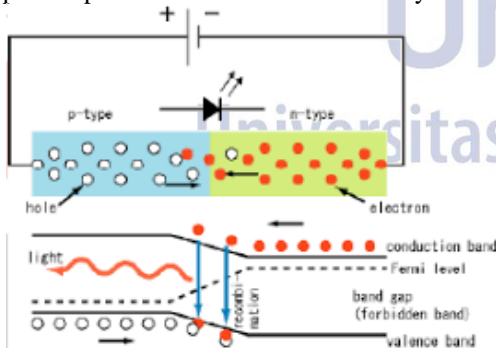


Gambar 8. Lampu LED
(Sumber : www.s-gala.com)

Cara Kerja LED

Kutub positif dan kutub negatif pada diode juga dimiliki pada LED. Cahaya yang dipancarkan led dihasilkan dari tegangan maju anoda ke katoda pada led.

Dengan penambahan ketidakmurnian di semikonduktor murni agar didapatkan karakteristik kelistrikan disebut juga proses injeksi dalam semikonduktor. Semikonduktor pada LED yang diinjeksi menciptakan junction N dan P. Ketika LED dialiri tegangan maju pada anoda (P) menuju ke katoda (N). Kelebihan *elektron* pada *N-type* material akan mengalami perpindahan ke wilayah yang memiliki kelebihan muatan positif (*P-type*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. Saat elektron berjumpa dengan muatan positif akan melepaskan *photon* dan memancarkan cahaya satu warna.



Gambar 9. Perpindahan Elektron pada LED
(Sumber : Ansyori, 2017)

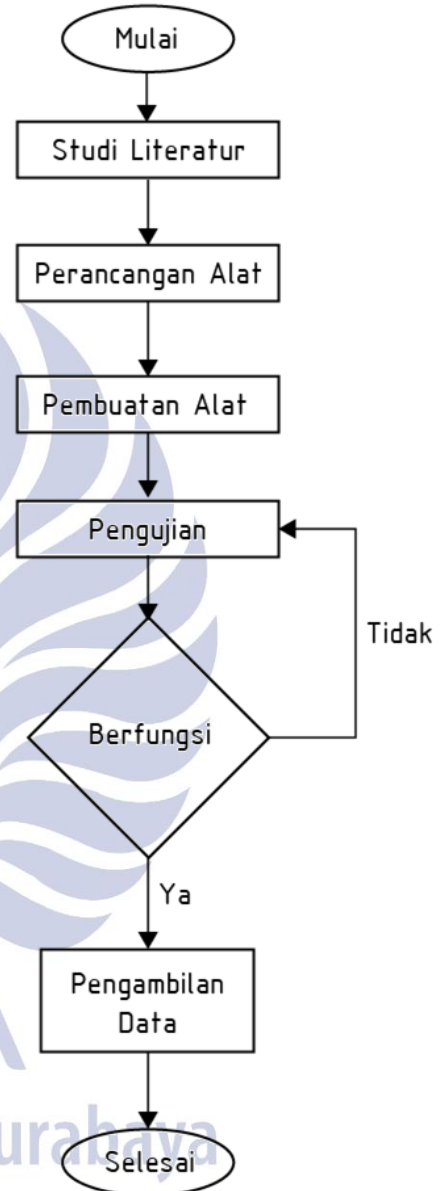
METODE PENELITIAN

Pendekatan Penelitian

Pendekatan yang digunakan yaitu percobaan atau eksperimen. Analisa pada pengambilan data menggunakan

pendekatan kualitatif dengan perhitungan matematis. Pada bagian ini merencanakan rancang bangun pembangkit listrik thermoelektrik dengan beban led.

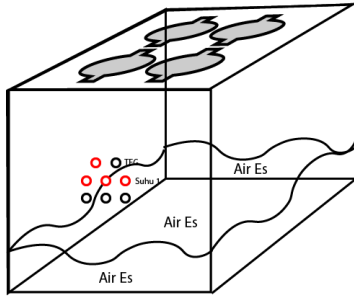
Prosedur penelitian yang digunakan, ialah : *study literature*, perancangan alat, pembuatan alat, pengujian alat, uji fungsi, pengambilan data dan penulisan laporan seperti pada Gambar 10.



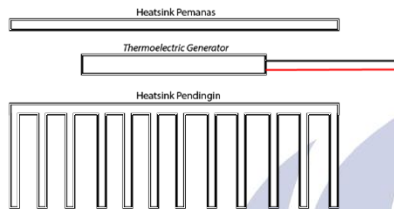
Gambar 10. Flowchart perencanaan penelitian

Perancangan Hardware

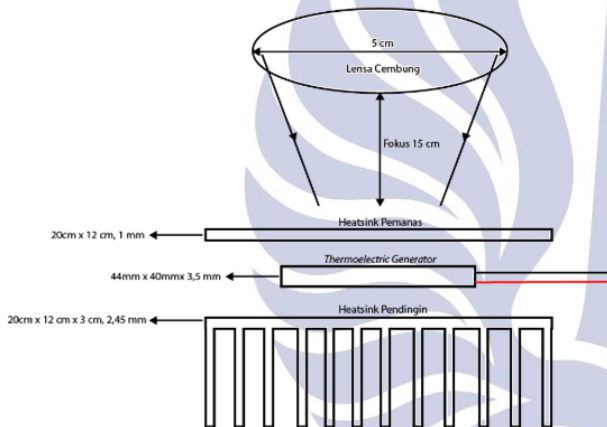
Perancangan ini mempunyai beberapa bagian, yaitu *hardware* dan *software*. Rancangan pada *hardware* thermoelektrik generator, kolektor panas dengan lensa cembung, *heatsink* pendingin, dan penyimpan energi listrik serta beban charger. Sistem perangkat lunak terdiri dari perancangan program serta perintah menggunakan mikrokontroler *Arduino Uno* serta alat ukur sensor tegangan, arus dan suhu.



Gambar 11. Desain Hardware



Gambar 12. Desain Tampak Dalam



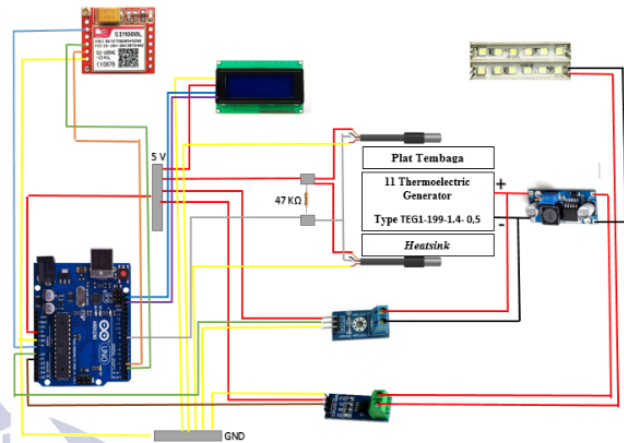
Gambar 13. Ilustrasi Kolektor Panas dan Pendingin

Gambar 11 terdiri dari sistem pemanas,. Pada sistem pemanas terdiri dari lensa cembung dan tembaga yang diletakan pada sisi panas TEG, pada sistem pendingin terdiri dari *heatsink* aluminium dengan air es atau es batu sebagai pembantu pendinginan dengan diletakan di permukaan sisi dingin TEG seperti pada Gambar 13. Gambar 12 desain tampak dalam terdiri dari sistem termoelektrik beserta pemanas dan pendinginan serta *output* keluar TEG dinaikkan untuk penggunaan beban led. Sistem alat ukur terdiri dari sensor arus, sensor tegangan dan dua sensor suhu. Tegangan keluaran TEG kemudian dinaikkan menggunakan dc step up untuk digunakan suplai beban lampu led.

Perancangan Thermoelektrik Generator

Pada langkah pertama peneliti menggunakan sejumlah prosedur untuk membuat rancangan termoelektrik generator seperti pada Gambar 14. Bentuk dari rancangan

perangkat keras seperti yang terlihat pada Gambar 11 dan Gambar 12.



Gambar 14. Wiring Diagram TEG dan Arduino

Perancangan Kolektor Panas dan Sistem Pendingin

Langkah selanjutnya peneliti merancang sebuah pengumpul cahaya yang menghantar panas yang terbuat dari lensa cembung. Lensa cembung yang dipakai yaitu 6 lensa. Proses menghantarkan panas dengan baik, maka jatuhnya titik cahaya jatuh pada *heatsink* pemanas. Fungsi dari *heatsink* pemanas yaitu membuang panas . Agar proses termoelektrik generator bekerja maksimal dilakukan perbedaan suhu dengan sistem pendingin pada sisi dingin TEG yang menggunakan *heatsink* aluminium dan air es.

Pemasangan TEG pada Heatsink

Menggunakan *heatsink* berjumlah 2 buah dengan ukuran 20 cm x 12 cm. Jumlah TEG yang diletakan diantara kedua *heatsink* adalah 11 modul dengan bagian sisi lain dari termoelektrik dipasangkan pada *heatsink*. Modul kemudian direkatkan menggunakan thermal yang berfungsi sebagai meratakan penyerapan panas dengan spesifikasi pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Thermoelektrik

No.	Spesifikasi	Nilai
1.	Model	TEG1-199-1
2.	Ukuran	40x40 mm
3.	Tegangan dan Arus	0-25V dan 0-2A
4.	Suhu	(-30°C) - 100°C
5.	Daya Max	60 Watt

(Sumber. www.rees52.com)

Rangkaian Seri pada Thermoelektrik

Langkah selanjutnya, rangkaian seri pada termoelektrik. Jika menggunakan rangkaian seri, maka TEG akan keluaran tegangan naik dan arus tetap. Jika dirangkai paralel tegangan TEG tetap dan arusnya bertambah. Pada tahap ini menggunakan seri untuk memenuhi *input* dari

DC Step Up agar dapat dinaikkan tegangannya sehingga beban led dapat berfungsi.

Pengujian Thermoelektrik Generator

Pada langkah ini dilakukan pengecekan prosedur pada Thermoelektrik agar mendapatkan energi listrik yang diinginkan.

- a. thermoelektrik generator di tempatkan pada paparan cahaya matahari.
- b. Menyambungkan thermoelektrik pada port step up yang sudah dibuatkan.
- c. Meletakkan sensor suhu ds18b20 pada bagian sisi panas thermoelektrik dan bagian dingin thermoelektrik.
- d. Posisikan lensa atau pemfokusan titik cahaya pada plat tembaga yang sudah ditempatkan TEG pada bagian bawah plat agar dapat pemfokusan dari cahaya bekerja secara maksimal
- e. Setelah bekerja hasil dari alat akan mengalami pengukuran secara program atau *software* dari arduino yang nantinya ditampilkan pada LCD 20X4.
- f. Setelah itu dilakukan pengukuran secara manual dengan menggunakan multimeter untuk mengukur arus dan tegangan yang dihasilkan.
- g. Jika tegangan dan arus tidak terukur maka dilakukan perbaikan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perancangan Hardware



Gambar 15. Pengujian alat dari tampak atas

Bagian yang dioleskan *thermal pasta* ke tembaga sebagai penyerap panas yang nantinya disambungkan dengan sisi thermoelektrik dengan rangkaian seri dengan menggunakan 11 modul TEG.

Bagian lainnya pada modul thermoelektrik disambungkan pada *heatsink/coldsink* sebagai pembuang panas maka ditambahkan es batu agar mendapatkan

perbedaan suhu yang besar sehingga thermoelektrik mengeluarkan tegangan yang diinginkan.

Bagian panas dan dingin diukur dengan menggunakan sensor suhu yaitu ds18b20 yang direkatkan pada sisi bagian panas dan dingin thermoelektrik generator diletakkan pada *heatsink*. Pengukuran tegangan dan arus dilakukan dengan sensor tegangan, sensor arus dan multimeter digital seperti pada Gambar 15. Data dari sensor dan multimeter digital yang nantinya direkap. Pada penelitian ini dilakukan selama 7 hari yaitu pagi, siang dan sore dengan rangkaian seri themoelektrik dan plat tembaga sebagai penyerap panas.

Pengujian Sensor Tegangan

Pengujian sensor tegangan yang bertujuan untuk membaca output tegangan dari thermoelektrik. Nilai pengukuran pada sensor perlu dikonversi dan kalibrasi di arduino uno sehingga menampilkan tegangan yang diinginkan. Pengujian sensor tegangan juga sebagai alat pengganti dari pengukuran menggunakan multimeter yang mana sensor tegangan pada arduino uno untuk memproses pembacaan nilai analog dari hasil pengukuran thermoelektrik. Kemudian membandingkan hasil pengukuran sensor tegangan dan multiimeter digital dari thermoelektrik. Setelah dilakukan pengujian hasil data thermoelektrik ditunjukkan pada Tabel 3-9.

Hasil Pengambilan Data Thermoelektrik Generator

Rancang bangun thermoelektrik generator sebagai pembangkit listrik dengan menggunakan panas matahari yang dirangkai secara seri dengan penghantar panas berupa plat tembaga, pada sisi dingin thermoelektrik diberi air es atau es batu didapatkan dari hasil pengambilan data sebagai berikut.

Tabel 3. Thermoelektrik Hari Pertama

Interval Waktu WIB	Sensor		Multimeter		Rumus V3 (V)	T1 (°C)	T2 (°C)	ΔT (°C)
	I1 (mA)	V1 (V)	I2 (mA)	V2 (V)				
09.00 - 10.00	25.7	1.75	20.3	1.43	2.6	5	45	40
12.00 - 13.00	57.95	3.36	53.54	3.12	3.3	5	56	51
15.00 - 16.00	11.8	1.03	7.8	0.98	1.7	7	34	27

Tabel 3 hasil data alat pada hari pertama menggunakan plat tembaga pada sisi panas thermoelektrik serta pada *heatsink* panas sisi dingin thermoelektrik dengan air es atau es batu dan rangkaian seri pada thermoelektrik. Nilai perbedaan suhu yaitu 51°C, data yang didapatkan tegangan 3,36 V pada siang hari dan tegangan terendah pada sore hari sebesar 1,03 V. Arus tertinggi didapatkan pada siang hari sebesar 57,95 mA dan arus terendah didapatkan pada sore hari sebesar 11,8 mA.

Tabel 4. Thermoelektrik Hari Kedua

Interval Waktu WIB	Sensor		Multimeter		Rumus	T1 (°C)	T2 (°C)	ΔT (°C)
	I1 (mA)	V1 (V)	I2 (mA)	V2 (V)	V3 (V)			
09.00 - 10.00	23.0 3	1.63	18.4 2	1.38	2.38	6.3	43.7	36.7
12.00 - 13.00	54.5 6	3.21	50.0 3	3.08	3.12	6.3	54.3	48
15.00 - 16.00	12.1	1.07	8.42	0.94	1.76	7.9	35.1	27.2

Tabel 4 hasil data alat pada hari kedua menggunakan plat tembaga pada sisi panas thermoelektrik serta pada *heatsink* panas sisi dingin thermoelektrik dengan air es atau es batu dan rangkaian seri pada thermoelektrik. Nilai perbedaan suhu yang didapatkan yaitu 48°C, data yang didapatkan tegangan 3,21 V pada siang hari dan tegangan terendah pada sore hari sebesar 1,07 V. Arus tertinggi didapatkan pada siang hari sebesar 54,56 mA dan arus terendah didapatkan pada sore hari sebesar 12,1 mA.

Tabel 5. Data Thermoelektrik Hari Ketiga

Interval Waktu WIB	Sensor		Multimeter		Rumus	T1 (°C)	T2 (°C)	ΔT (°C)
	I1 (mA)	V1 (V)	I2 (mA)	V2 (V)	V3 (V)			
09.00 - 10.00	22.5	1.54	18.1	1.28	2.25	5.5	40.2	34.7
12.00 - 13.00	55.7	3.3	51.23	3.15	3.3	6.5	57.2	50.8
15.00 - 16.00	10.2	0.95	6.92	0.72	1.66	7.1	32.7	25.6

Tabel 5 hasil data alat pada hari ketiga menggunakan plat tembaga pada sisi panas thermoelektrik serta pada *heatsink* panas sisi dingin thermoelektrik dengan air es atau es batu dan rangkaian seri pada thermoelektrik. Nilai perbedaan suhu yang didapatkan yaitu 50,8°C, data yang didapatkan tegangan 3,3 V pada siang hari dan tegangan terendah pada sore hari sebesar 0,95 V. Arus tertinggi didapatkan pada siang hari sebesar 55,7 mA dan arus terendah didapatkan pada sore hari sebesar 10,3 mA.

Tabel 6. Data Thermoelektrik Hari Keempat

Interval Waktu WIB	Sensor		Multimeter		Rumus	T1 (°C)	T2 (°C)	ΔT (°C)
	I1 (mA)	V1 (V)	I2 (mA)	V2 (V)	V3 (V)			
09.00 - 10.00	24.6	1.63	19.6	1.24	2.5	6.1	45.3	39.2
12.00 - 13.00	58.3	3.38	54.22	3.02	3.39	6.9	59.2	52.3
15.00 - 16.00	12.5	1.12	8.4	1.02	1.78	8.2	35.7	27.5

Tabel 6 hasil data alat pada hari keempat menggunakan plat tembaga pada sisi panas thermoelektrik serta pada *heatsink* panas sisi dingin thermoelektrik dengan air es atau es batu dan rangkaian seri pada thermoelektrik. Nilai perbedaan suhu yang didapatkan yaitu 52,3°C, data yang didapatkan tegangan 3,38 V pada siang hari dan tegangan terendah pada sore hari sebesar 1,12 V. Arus tertinggi didapatkan pada siang hari sebesar 58,3 mA dan arus terendah didapatkan pada sore hari sebesar 12,5 mA.

Tabel 7. Data Thermoelektrik Hari Kelima

Interval Waktu WIB	Sensor		Multimeter		Rumus	T1 (°C)	T2 (°C)	ΔT (°C)
	I1 (mA)	V1 (V)	I2 (mA)	V2 (V)	V3 (V)			
09.00 - 10.00	23.5	1.59	17.5	1.24	2.4	5.9	42.8	36.9
12.00 - 13.00	53.8	3.25	48.65	3.09	3.17	6.4	55.3	48.9
15.00 - 16.00	11.9	1.02	8.47	0.85	1.67	7.5	33.2	25.7

Tabel 7 hasil data alat pada hari kelima menggunakan plat tembaga pada sisi panas thermoelektrik serta pada *heatsink* panas sisi dingin thermoelektrik dengan air es atau es batu dan rangkaian seri pada thermoelektrik. Nilai perbedaan suhu yang didapatkan yaitu 48,9°C, data yang didapatkan tegangan 3,25 V pada siang hari dan tegangan terendah pada sore hari sebesar 1,02 V. Arus tertinggi didapatkan pada siang hari sebesar 53,8 mA dan arus terendah didapatkan pada sore hari sebesar 11,9 mA.

Tabel 8. Data Thermoelektrik Hari Keenam

Interval Waktu WIB	Sensor		Multimeter		Rumus	T1 (°C)	T2 (°C)	ΔT (°C)
	I1 (mA)	V1 (V)	I2 (mA)	V2 (V)	V3 (V)			
09.00 - 10.00	25.2	1.78	21.84	1.28	2.5	6.2	45.3	39.1
12.00 - 13.00	59.6	3.4	54.2	3.25	3.48	5.1	58.7	53.6
15.00 - 16.00	12.9	1.22	9.42	1.15	1.78	7.8	35.2	27.4

Tabel 8 hasil data alat pada hari keenam menggunakan plat tembaga pada sisi panas thermoelektrik serta pada *heatsink* panas sisi dingin thermoelektrik dengan air es atau es batu dan rangkaian seri pada thermoelektrik. Nilai perbedaan suhu yang didapatkan yaitu 53,6°C, data yang didapatkan tegangan 3,4 V pada siang hari dan tegangan terendah pada sore hari sebesar 1,22 V. Arus tertinggi didapatkan pada siang hari sebesar 59,6 mA dan arus terendah didapatkan pada sore hari sebesar 12,9 mA.

Tabel 9. Data Thermoelektrik Hari Ketujuh

Interval Waktu WIB	Sensor		Multimeter		Rumus	T1 (°C)	T2 (°C)	ΔT (°C)
	I1 (mA)	V1 (V)	I2 (mA)	V2 (V)	V3 (V)			
09.00 - 10.00	23.78	1.72	17.82	1.35	2.4	5.9	43.1	37.2
12.00 - 13.00	53.6	3.2	44.7	3.08	3.25	6.2	56.2	50
15.00 - 16.00	11.7	0.98	7.12	0.75	1.6	7.8	32.5	25.7

Tabel 9 hasil data alat pada hari ketujuh menggunakan plat tembaga pada sisi panas thermoelektrik serta pada *heatsink* panas sisi dingin thermoelektrik dengan air es atau es batu dan rangkaian seri pada thermoelektrik. Hasil data perbedaan suhu yang didapatkan yaitu 50°C, data yang didapatkan tegangan 3,2 V pada siang hari dan tegangan terendah pada sore hari sebesar 11,7 V. Arus tertinggi didapatkan pada siang hari sebesar 53,6 mA dan arus terendah didapatkan pada sore hari sebesar 11,7 mA.

Hasil multimeter digital yang didapatkan selisih yang tidak terlalu besar. Pada Tabel 3-9 didapatkan rata – rata pada pengukuran dengan multimeter digital dengan mengambil data perbandingan tegangan dan arus tertinggi yaitu 3,11 V dan 50,93 mA. Pengukuran dengan menggunakan sensor arus dan sensor tegangan dengan rata – rata nilai yaitu 3,33 V dan 56,21 mA.

Tabel 10. Data Rata-Rata Thermoelektrik

Interval Waktu WIB	Sensor		Multimeter		Rumus	ΔT (°C)
	I1 (mA)	V1 (V)	I2 (mA)	V2 (V)	V3 (3)	
09.00 – 10.00	24,04	1,66	19,08	1,31	2,43	37,68
12.00 – 13.00	56,21	3,3	50,93	3,11	3,28	50,65
15.00 – 16.00	11,87	1,05	8,07	0,91	1,07	26,58

Tabel 10 hasil rata – rata data alat selama satu minggu menggunakan plat tembaga pada sisi panas thermoelektrik serta pada *heatsink* panas sisi dingin thermoelektrik dengan air es atau es batu dan rangkaian seri pada thermoelektrik. Didapatkan rata-rata pada pagi hari yaitu sebesar 24,04 mA dan 1,66 V dengan perbedaan suhu 37,68°C, pada siang hari dengan rata-rata sebesar 56,21 mA dan 3,3 V, selanjutnya pada sore hari didapatkan rata-rata sebesar 11,87 mA dan 1,05 V.

Perbandingan Output Tegangan dari Efek Seebeck Thermoelektrik

Hasil pengukuran tegangan pada thermoelektrik dengan multimeter digital dan sensor tegangan dilakukan perhitungan dengan efek *seebeck* untuk mengetahui *error* dari tegangan yang dihasilkan dari Tabel 3-9.

Perbandingan ini bertujuan untuk memperbaiki pembacaan pada sensor tegangan sehingga mendekati alat ukur yang telah ditentukan. Sehingga penggunaan sensor tegangan pengganti dari multimeter dapat digunakan guna kemudahan dalam melakukan monitoring alat.

Error sistematis adalah *error* pengukuran yang mempengaruhi hasil dari pengukuran secara manual (Noor, 2016). Maka dilakukan perhitungan *error* sebagai berikut:

$$\% \text{ error} = \left| \frac{X - X_s}{X_s} \times 100\% \right| \tag{8}$$

$$\% \text{ error} = \left| \frac{X_s - X_m}{X_m} \times 100\% \right| \tag{9}$$

Keterangan :

- X = Data Perhitungan
- Xs = Data Sensor Tegangan
- Xm = Data Multimeter
- % Error = Perhitungan

Berikut merupakan hasil perhitungan presentase perbedaan nilai multimeter dengan sensor tegangan dari

Tabel 2-8 pengukuran menggunakan sensor tegangan dan multimeter diperoleh data perbandingan rata-rata dari tegangan dan perbedaan suhu yaitu 3,3 V, 50,6°C dan 3,11 V. Dengan TEG semikonduktor tembaga yang mempunyai koefisien *Seebeck* 0,065 V/K. Hasil Perhitungan *error* sensor tegangan dan multimeter dari data yang diperoleh 3,33 V pada sensor tegangan, 3,11 V pada hasil pengukuran multimeter dengan menggunakan persamaan 1 dan 8 didapatkan hasil tegangan 3,289 V dengan *error* sebesar 6,1 %.

Hasil Perhitungan *error* perhitungan dan sensor tegangan dari data yang diperoleh 3,33 V pada sensor tegangan dengan menggunakan persamaan 1 dan 9 didapatkan hasil tegangan 3,289 V dengan *error* sebesar 0,3 %.

PENUTUP

Simpulan

Alat “Rancang Bangun *Thermoelectric Generator* sebagai Pembangkit Listrik dengan Memanfaatkan Panas Matahari”. Pada thermoelektrik ini menggunakan plat tembaga dengan tebal 1mm pada sisi panas dan *Heatsink* aluminium pada sisi dingin thermoelektrik sehingga menghasilkan *output* tegangan listrik dapat digunakan untuk suplai ke beban led yang sebelum itu tegangan dinaikkan oleh *DC Step Up* yang mana memerlukan tegangan *input* sebesar 3 V. Sehingga untuk mendapatkan tegangan yang diharapkan maka thermoelektrik dirangkai secara seri dengan pengantar panas yang baik untuk menerima panas dari matahari. Didapatkan 3,25 V dan 54,2 mA dengan perbedaan suhu sebesar 53, 6°C pada pengujian hari keenam. Pada pengujian alat ini didapatkan rata – rata pada semua alat ukur yaitu 3,11 V dan 50,9 mA. rata-rata pengambilan data menggunakan sensor yaitu 3,33 V , 56,21 mA dan perbedaan suhu sebesar 50,65°C. selama pengujian selama 7 hari.

Saran

Berdasarkan simpulan diatas hal perlu ditambahkan pada rancang bangun thermoelektrik yaitu pengoptimalan serta titik fokus lensa yang difokuskan pada plat/penerima panas agar suhu yang dihasilkan naik, serta pengoptimalan saluran untuk mendinginkan dan menstabilkan suhu dingin pada sisi dingin thermoelektrik.

DAFTAR PUSTAKA

Arrowasiaindonesia. *Plat Tembaga, Size 1mm x 1.0 Meter x 1,5 Meter*. <https://www..com/product/plat-tembaga-size-1mm-x-1-0-meter-x-1-5-meter/> (diakses pada 13 November 2020)

Abdurrohman, Hafidh. 2016. *Efektifitas Modul Peltier TEC-12706 Sebagai Generator Dengan*

Memanfaatkan Energi Panas Dari Modul Peltier TEC-12706. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Ansyori. 2017. *Rancang Bangun Sistem Generator Thermoelektrik Sederhana Sebagai Pembangkit Listrik dengan Menggunakan Metode Seebeck Effect.* Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.

Ginanjari, Ayong Hiendro, Dedy Suryadi 2019. *Perancangan dan Pengujian Sistem Pembangkit Listrik Berbasis Thermoelektrik dengan Menggunakan Kompor Surya Sebagai Media Pemusat Panas.* Jurusan Teknik Elektro, Universitas Tanjungpura.

Hadi, Muhammad. 2017. *Desain dan Implementasi Peningkatan Efisiensi Buck Boost Converter Menggunakan Soft Switching dengan Metode Close Loop Control System Sebagai Switch Mode Power Supply (SMPS).* Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Malang.

Khalid, Muammar., Syukri, Mahdi., & Gapy, Mansur. 2016. *Pemanfaatan energi panas sebagai pembangkit listrik alternatif berskala kecil dengan menggunakan termoelektrik.* Jurnal online teknik elektro, 1 (3), 57-62.

Nandy, Putra., Raldi Artono Koestor, M. Adhitya, Ardian Roekettino, dan Bay Trianto. 2009. *Potensi Pembangkit Daya Thermoelectric Untuk Kendaraan Hibrid.* Jurnal Makara Teknologi. Vol. 13, No. 2, 53-58.

Noor, Wahyu. 2016. *Analisis Pemahaman Konsep Mahasiswa Fisika Terhadap Pembentukan Bayangan pada Lensa.* Jurusan Fisika-FMIPA Universitas Negeri Semarang.

Nuwayhid, Rida Y, Alan Syihadeh dan Nasreen Ghaddar. 2005. *Development and Testing of a Domestic Woodstove Thermoelectric Generator with Natural Convection Cooling.* *Energy Conversion and Management* 46, 1631-1643.

Sino-sheetmetal. *Aluminium Heatsink.* <https://www.sino-sheetmetal.com/aluminium-heat-sink/> (diakses pada 13 November 2020)

Stationary. *Joyko Kaca Pembesar Magnifier MFR-7.* <https://stationary.co.id/products/joyko-kaca-pembesar-magnifier-mfr-7?variant=19220613300278> (diakses pada 13 November 2020).

Sunrom. *XL6009EI TO263-5-IC For DC-DC Boost.* <https://www.sunrom.com/p/xl6009e1-to263-5-ic-for-dc-dc-boost> (diakses pada 13 November 2020).

Wirawan, Rio. 2012. *Analisa Penggunaan Heat Pipe Pada Thermoelectric Generator.* Fakultas Teknik. Program Studi Teknik Mesin. Universitas Indonesia.